



## Table des matières

1.Introduction.....	3
2.Types de structures et classifications.....	3
2.1.Poutres et colonnes.....	3
2.2.Les treillis.....	4
2.3.Les cadres.....	4
2.4.Les arches.....	4
2.5.Les câbles.....	4
2.6.Les dalles.....	4
2.7.Les coques.....	4
2.8.Les membranes.....	4
3.Modélisation des liaisons.....	5
3.1.Introduction.....	5
3.2.Modélisation des liaisons mécaniques.....	5
4.Modélisation des charges.....	6
4.1.Typologie des charges.....	6
4.2.Classification des charges.....	6
4.3.Théorème de superposition :.....	7
4.4.Combinaison de charges.....	8
5.Descentes de charges.....	8
6.Surface d'influence.....	10
7.Etats limites.....	12
8.Courbes enveloppes.....	13
9.Mécanique des sols et fondations.....	14
9.1.Définition et rôle des fondations.....	14
9.2.Mécanique des sols.....	14
9.3.Vérification des fondations superficielles.....	14

Sites intéressants et utilisés comme base pour ce document :

[http://lesitegc.free.fr/cours/cours\\_premiere/pfs/0\\_pfs.php](http://lesitegc.free.fr/cours/cours_premiere/pfs/0_pfs.php)  
<http://www.er.uqam.ca/nobel/m333014/typesouvrages.html#pontsusp>  
<http://www.coinduprojeteur.com/>

En complément au DR concernant les vibrations :

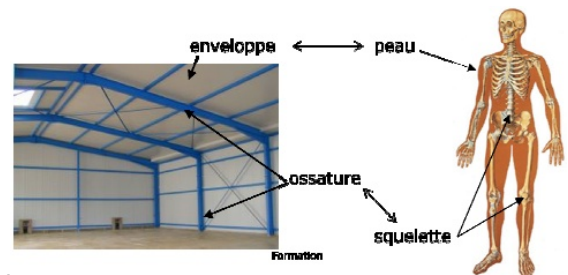
[http://www.canal-u.tv/video/universite\\_de\\_tous\\_les\\_savoirs/buildings\\_et\\_batiments\\_de\\_grande\\_hauteur\\_un\\_defi\\_pour\\_les\\_structures.1414?showAddFavoris=1](http://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/buildings_et_batiments_de_grande_hauteur_un_defi_pour_les_structures.1414?showAddFavoris=1)

## 1. Introduction

Dans un projet de Génie Civil, l'architecte dessine l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment et envoie les plans à un bureau d'études. Le bureau d'études définit alors à tous les éléments porteurs du bâtiment.

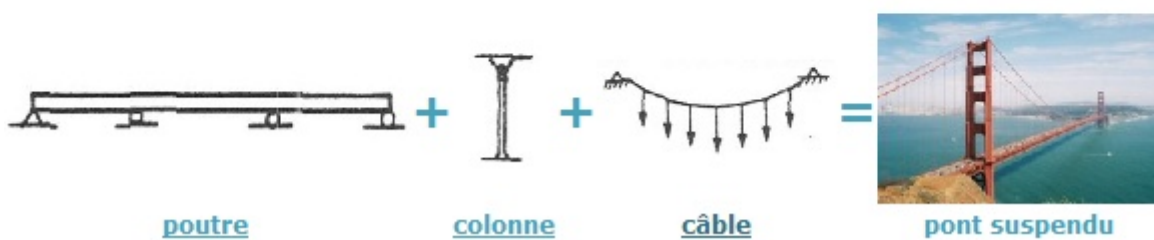
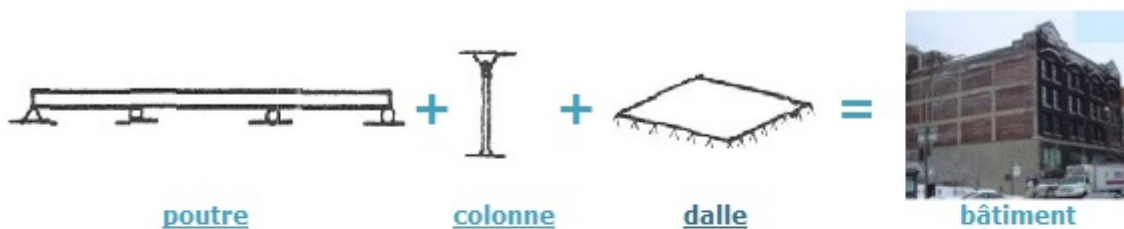
La structure porteuse du bâtiment correspond au squelette.  
Le reste constitue l'enveloppe du bâtiment.

Le calcul de structure en génie civil correspond donc au travail des bureaux d'études.



## 2. Types de structures et classifications.

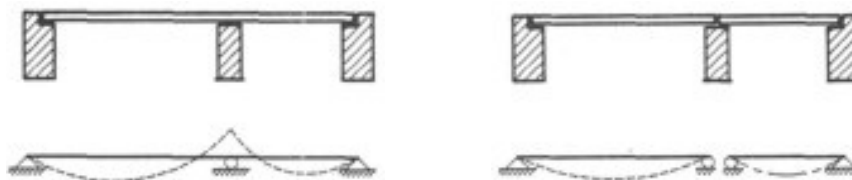
Exemples de structures classiques :



### 2.1. Poutres et colonnes

Les structures poutres-colonnes sont formées d'éléments rigides horizontaux (**poutres**) qui « reprennent » les charges appliquées transversalement à leur longueur et les transfèrent vers les éléments verticaux (**colonnes ou poteaux**).

Les poutres peuvent être simples ou continues. Les poutres continues sont plus économiques.



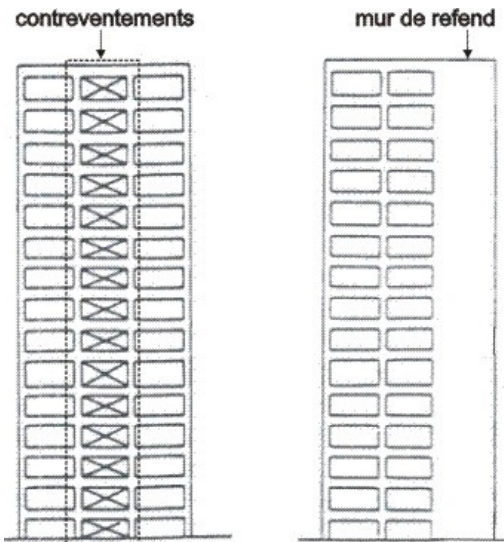
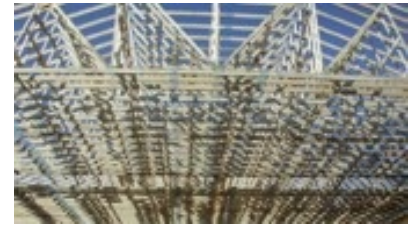
Poutre continue

Poutres simples

## 2.2. Les treillis

Les structures en treillis sont composées de barres droites formant des triangles (indéformables).

Les treillis supportent les charges en développant des forces axiales dans les barres. Elles sont généralement plus économiques que les poutres pour des portées moyennes



## 2.3. Les cadres

Les cadres sont des structures utilisées dans les constructions multi-étages.

Ces structures ne sont pas très résistantes aux forces latérales telles que le vent et les tremblements de terre. Elles sont donc souvent associées à des contreventements ou des murs de refend.

## 2.4. Les arches

Les arches sont des structures utilisées pour relier 2 rives. Les arches à courbure prononcée supportent les charges appliquées en développant principalement des contraintes de compression et de ce fait elles peuvent être construites avec des matériaux dont la résistance est élevée en compression, mais faible en traction, par exemple de la maçonnerie



## 2.5. Les câbles

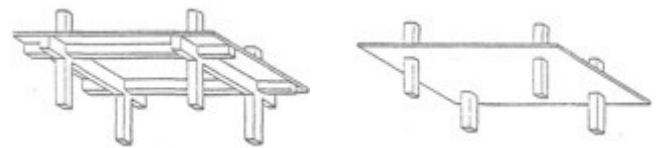
Les câbles sont utilisés dans des structures à grande portée tels les ponts ou toits suspendus.

Les câbles supportent les charges en développant des forces axiales de traction.



## 2.6. Les dalles

Les dalles sont des éléments horizontaux qui reposent soit sur des poutres, soit directement sur des colonnes



Dalle sur poutres

Dalle sur colonnes



## 2.7. Les coques

Les coques sont des structures rigides ayant une surface courbée. Elles supportent l'action du vent, de la neige, etc ...

## 2.8. Les membranes

Les membranes sont des structures flexibles, légères et de forme variées. Elles supportent les charges réparties sur leur surface (vent, neige, pluie, ...) en développant des forces de tractions multiaxiales.



### 3. Modélisation des liaisons

#### 3.1. Introduction

Pour pouvoir étudier les efforts entre différents éléments, il est souvent utile de passer par des modèles. Le modèle est une schématisation simplifiée d'un élément, mais qui conserve toutes ses caractéristiques.

Exemple: Si je considère un homme sur le sol,

je peux le représenter comme ceci :



ou le modéliser comme ceci :



J'ai remplacé l'homme par une force verticale qui **correspond** à son poids. Cette force s'applique à l'endroit où l'homme est en **contact** avec le sol.

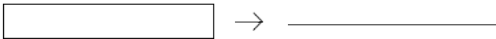
En se plaçant suffisamment loin de l'homme le comportement est comparable. On dit que l'on a **modélisé**.

#### 3.2. Modélisation des liaisons mécaniques

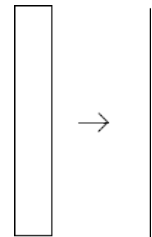
En mécanique du Génie Civil, on va donc modéliser de la même manière les structures et les liaisons entre structures.

Exemple:

Une poutre sera modélisée par une barre.

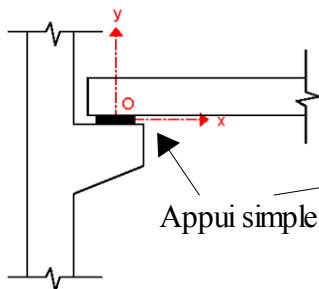


Un poteau sera modélisé par une barre.



Les liaisons mécaniques entre les éléments seront représentées comme suit :

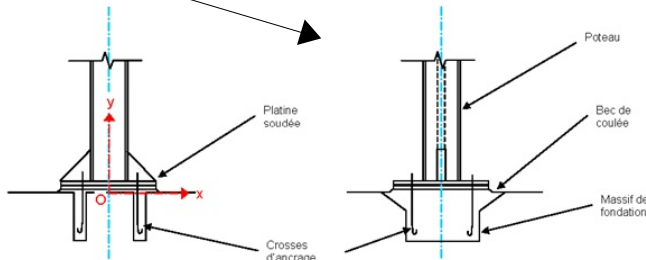
Interne	Externe	Désignation	Actions correspondantes
		Appui simple	
		Articulation	
		Encastrement	



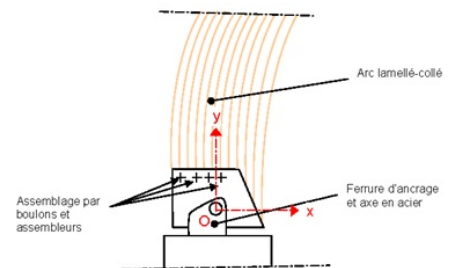
Appui simple



Encastrement



Articulation



## 4. Modélisation des charges

Un site intéressant : <http://www.coinduprojeteur.com/>

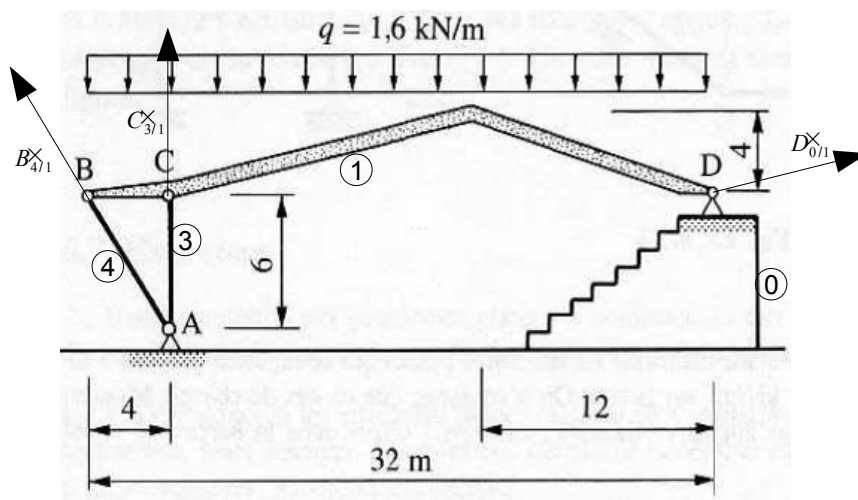
### 4.1. Typologie des charges

Il existe les charges ponctuelles comme l'action de poteaux ou de câbles.

Il existe aussi des charges réparties comme le poids propre des éléments, le poids de la neige, l'action du vent, ...

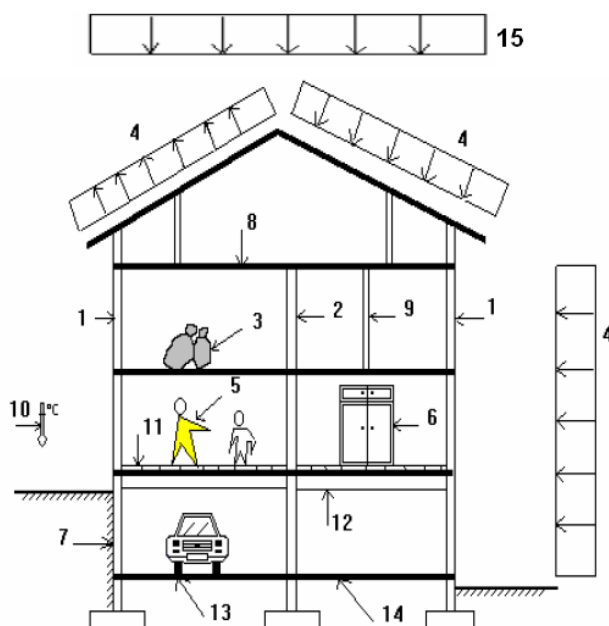
Les charge réparties sont exprimées en

- N/m pour les charges linéique comme le poids des poutres.
- N/m<sup>2</sup> pour les charges surfaciques comme le poids d'une couverture ou le poids de la neige.



### 4.2. Classification des charges

Le schéma ci-dessous montre la structure d'un bâtiment classique et les sollicitations qu'il supporte.



#### Légende

- 1 - Mur de façade
- 2 - Mur de refend
- 3 - Charge concentrée
- 4 - Action du vent
- 5 - Personnes
- 6 - Meuble
- 7 - Poussée des terres
- 8 - Plancher en béton armé
- 9 - Cloisons
- 10 - Température
- 11 - Revêtement de plancher
- 12 - Poutre en béton armé
- 13 - Automobile
- 14 - Sous-pression d'eau
- 15 - Poids de la neige



### Les charges permanentes : G

Elles résultent du poids propre des éléments porteurs et non porteurs.

Elles sont déterminées à partir :

- du poids volumique des matériaux en  $\text{KN/m}^3$
- ou du poids surfacique des éléments en  $\text{KN/m}^2$

### Les charges variables : Q

Elles comprennent :

#### Les charges d'exploitation :

Poids des occupants, mobilier, véhicules, ... Elles sont définies forfaitairement et règlementairement par l'Eurocode 1 en fonction de l'usage spécifique du bâtiment.

*Remarque : Dans le cas d'un bâtiment d'habitation à grand nombre de niveaux (>2), on peut considérer que l'occupation des locaux n'est pas maximale simultanément à tous les niveaux. On peut donc appliquer un coefficient de réduction  $\alpha_n$  à la charge d'exploitation totale.*

#### Les charges climatiques :

La neige : S (comme Snow), s'exprime en  $\text{kN/m}^2$  calculée à partir de l'Eurocode 1. Son action est statique dirigée verticalement vers le bas.

Le vent : W (comme Wind), son action est complexe car elle peut avoir des effets statiques (dépression et surpression sur les parois) et dynamique (phénomènes de résonance). Il est calculé à partir de l'Eurocode 1.

*Remarque : Dans le cas de structures courantes simples, la prise en compte du vent se limite à une étude qualitative du contreventement assuré par :*

- la présence de cages d'escalier,
- la présence de murs de refends dans les directions orthogonales.

### Autres charges :

Les charges thermiques, les charges sismiques, les vibrations.

## 4.3. Théorème de superposition :

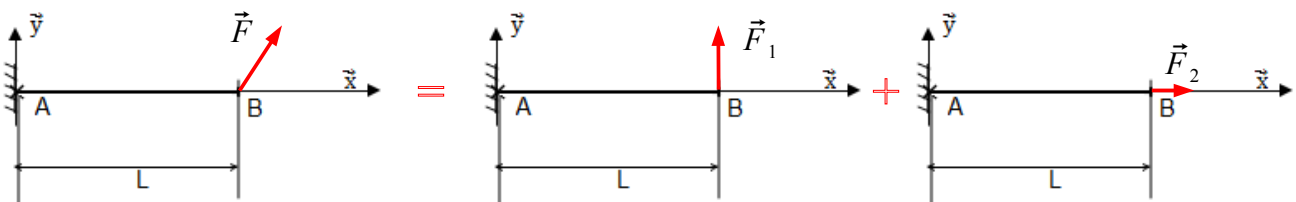
La contrainte dans un problème complexe est la somme des contraintes des problèmes de sollicitations simples.

Conséquence : la contrainte maximum d'un problème complexe peut être située dans une section différentes des contraintes maximum obtenues en sollicitations simples.

Limites du théorème de superposition:

- la limite élastique ne doit pas être atteinte,
- la somme des actions extérieures des différents problèmes de sollicitations simples doit être égale à celle du problème complexe.

**Exemple :** problème de flexion / traction-compression



$$\text{On vérifie que : } \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$\text{Le théorème de superposition donne donc : } \sigma(x) = \sigma_1(x) + \sigma_2(x)$$

$$\text{Soit pour l'exemple : } \sigma(x) = (L-x) \cdot \frac{F_1 \cdot y}{I_{GZ}} + \frac{F_2}{S}$$

## 4.4. Combinaison de charges

En fonction des situations qu'une construction va connaître, il faut superposer les effets de plusieurs actions. Pour cela :

- nous affecterons à chaque type d'actions, un coefficient de sécurité partiel,
- nous combinerons les actions obtenues (principe de superposition des effets),
- nous déterminerons la ou les combinaisons qui engendrent les sollicitations les plus défavorables pour chaque élément de la construction.

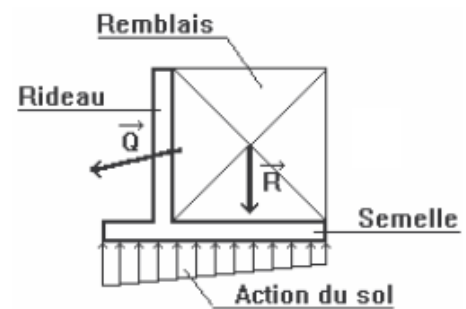
Notations :

- $G_{max}$  : ensemble des actions permanentes défavorables
- $G_{min}$  : ensemble des actions permanentes favorables (voir ci-dessous)
- $Q_1$  : action variable dite de base
- $Q_i$  : action variable dite d'accompagnement

Exemple : Cas d'un mur de soutènement :

La poussée  $Q$  pousse vers un renversement du mur et agit donc dans un sens défavorable : elle intervient donc en  $G_{max}$ .

L'action des terres derrière le rideau  $R$  agit dans un sens de stabilité donc favorable : elle intervient donc en  $G_{min}$ .



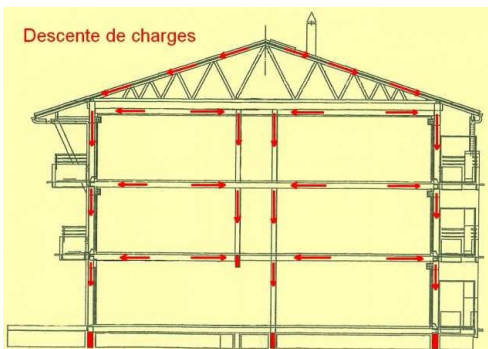
Les combinaisons de charges à prendre en compte pour vérifier la stabilité de la structure sont définies par des normes que les constructeurs sont tenus de respecter.

Par exemple pour assurer la tenue mécanique d'un bâtiment général, on peut considérer la combinaison de charges suivante :

$$1,35 G_{max} + G_{min} + 1,5 Q$$

## 5. Descentes de charges

Un site intéressant : <http://www.er.uqam.ca/nobel/m333014/reprisecharges.html>



Toute structure est soumise au poids.

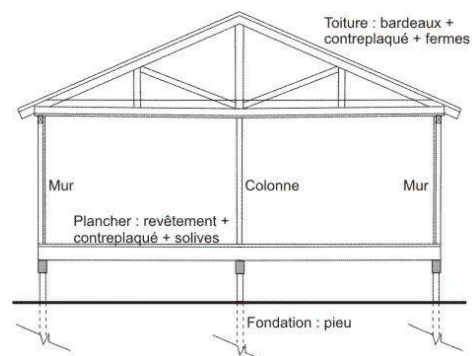
Le cheminement des charges dans une structure s'effectue donc du niveau le plus haut (charpente) vers le niveau le plus bas (fondations).

On peut faire l'analogie de ce cheminement avec un réseau de tuyaux canalisant l'eau par gravitation.

Dans une structure de génie civil, le réseau de tuyaux correspond au système porteur de la structure et l'eau à l'ensemble des charges véhiculées.

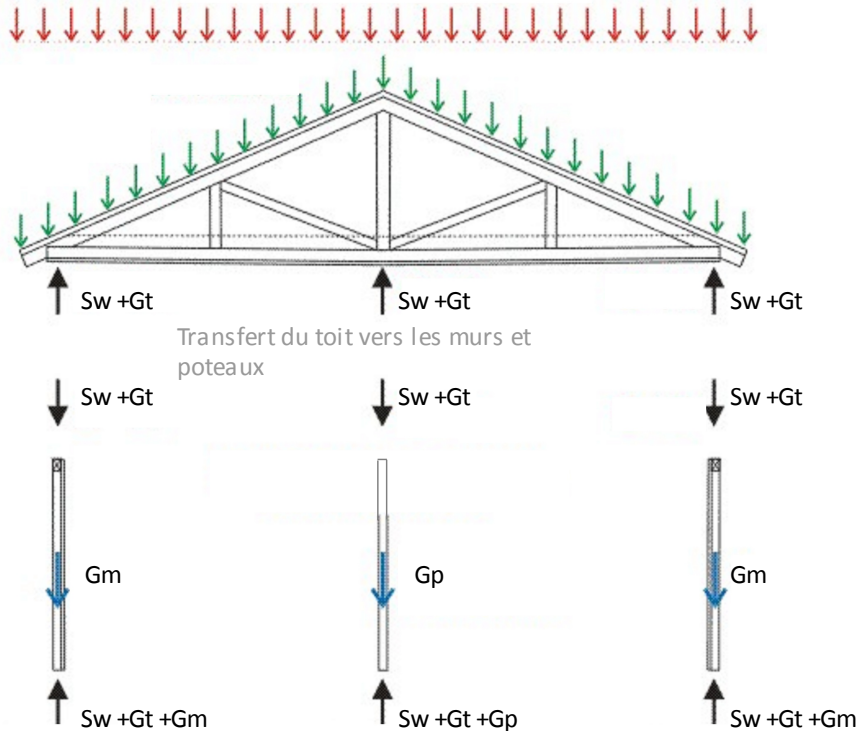
Ce cheminement est appelé descente de charges.

Exemple : L'étude de la descente des charges pour le bâtiment ci-contre est traitée à la page suivante.



$S_w$  : charges dues à la neige (projetée)

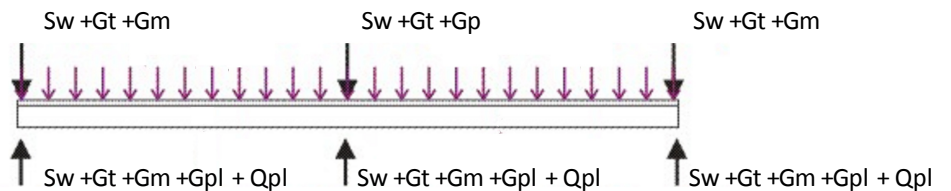
$G_t$  : Charge de la toiture  
-bardeaux  
-contreplaqué  
-fermes



$G_m$  : charge permanente des murs  
 $G_p$  : charge permanente du poteau

Transfert des murs et du poteau vers le plancher

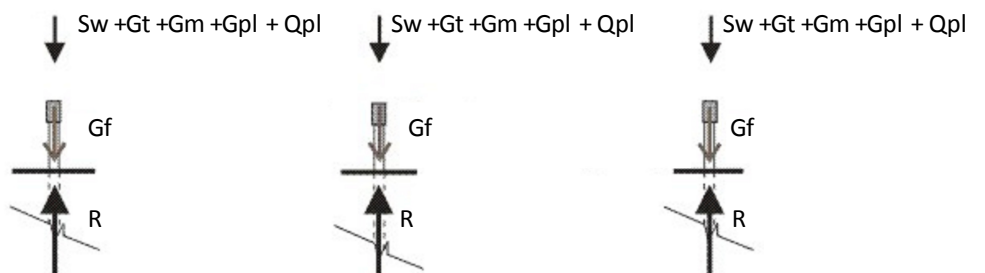
Charge dues au plancher :  
 $G_{pl}$  : permanent  
+  
 $Q_{pl}$  : exploitation



Transfert du plancher vers les fondations

$G_f$  : Charge permanent fondation

$R$  : Réaction du sol



$$R = S_w + G_t + G_m + G_{pl} + Q_{pl} + G_f$$

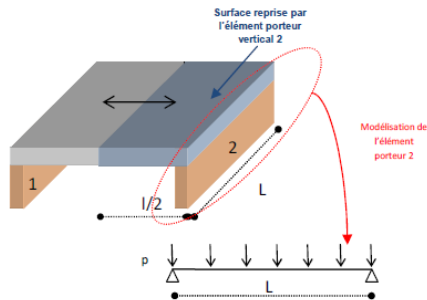


### 6. Surface d'influence

Les surfaces horizontales (plancher, toiture) d'une structure doivent reposer sur des appuis (poutres ou murs porteurs appelés aussi voiles) appelés aussi éléments porteurs.

Quel que soit le matériau de construction, pour déterminer les charges transmises par les dalles aux poutres ou aux voiles, et pour tout type de charges G, Q ou S, il faut se servir de la surface de plancher reprise par ces éléments porteurs.

Ces surfaces de planchers sont appelées surfaces d'influence et notées SP.

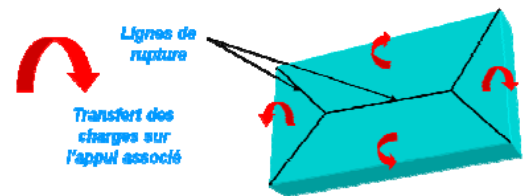


Premier cas :

Le report des charges ne se fait que sur 2 côtés. La surface du plancher est donc divisée en deux parties égales parallèlement aux porteurs

Deuxième cas :

Le report des charges se fait sur les 4 côtés du plancher en suivant des lignes de rupture à 45° par rapport aux angles de la dalle pour un angle droit. Cette inclinaison à 45° conduit à des découpes en triangles et trapèzes isocèles.

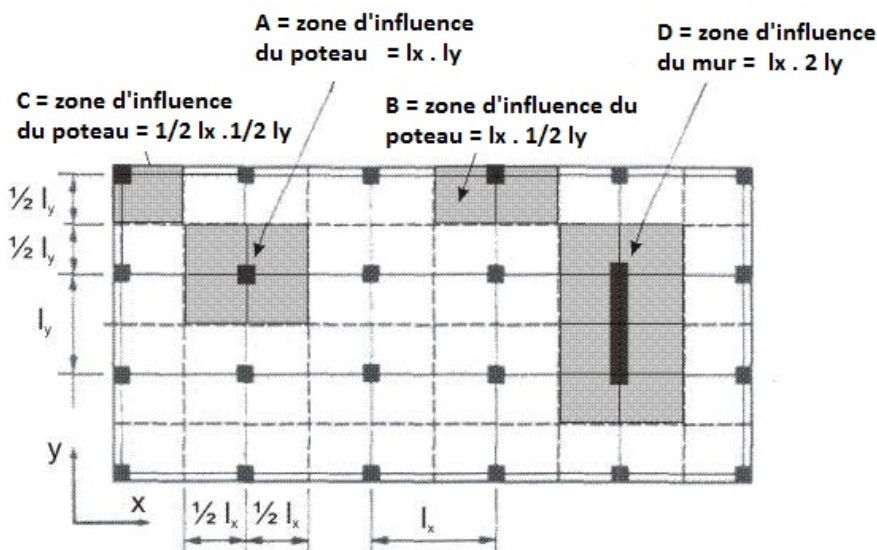


Chaque surface est associée à UN SEUL APPUI (voile ou poutre)

Si l'angle que font les éléments porteurs de la dalle n'est pas un angle droit, la répartition n'est plus à 45° mais se fait suivant la bissectrice de l'angle.

Exemple : Avec un plancher, des poteaux et un mur.

Les charges surfaciques de l'élément horizontal qui est la dalle (charge permanente D, surcharge d'utilisation L ou neige S) sont transmises aux éléments verticaux (poteaux et murs), au prorata de la surface d'influence.

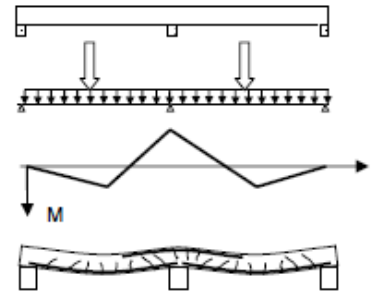


Si la travée  $l_x$  est de 20 m et la travée  $l_y$  de 15 m, les zones d'influence A, B, C et D seront respectivement de 300 m<sup>2</sup>, 150 m<sup>2</sup>, 75 m<sup>2</sup> et 600 m<sup>2</sup>.

### 7. Etats limites

Les différentes étapes d'un projet de béton armé sont les suivantes :

1. Analyse de la structure, modélisation
2. Détermination des actions ou bilan des charges
3. Descente de charges et combinaisons d'actions
4. Sollicitations : N (effort normal), V (effort tranchant) et M (moment de flexion)
5. Dimensionnement
6. Plans de coffrage et plans de ferraillage



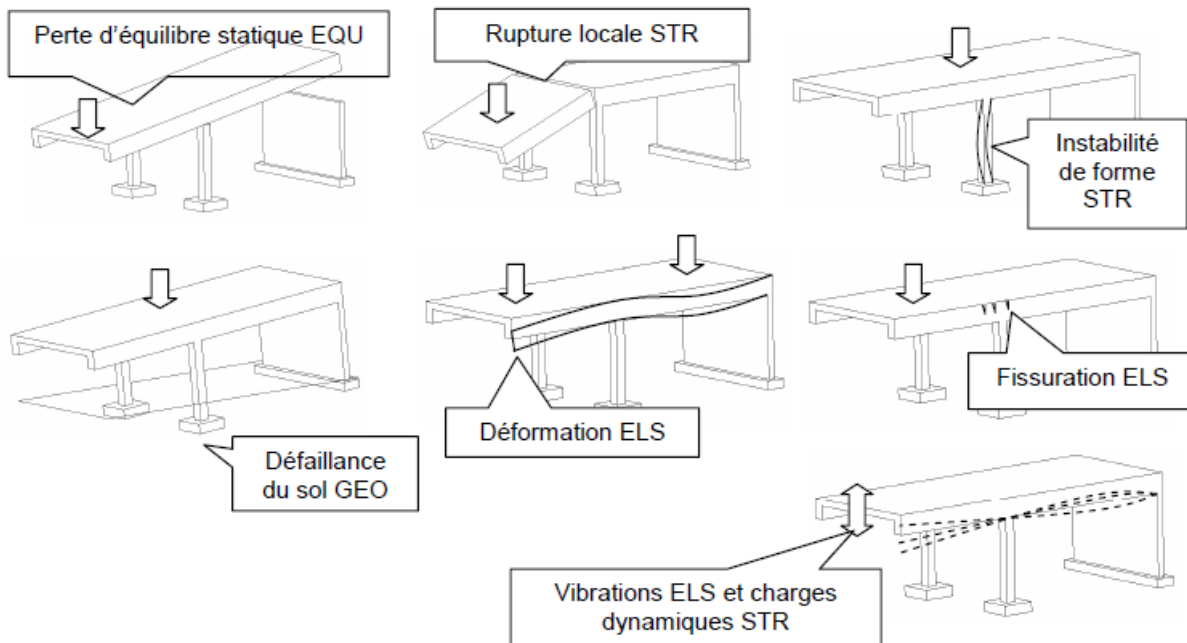
Les calculs de conception de bâtiment doivent être effectués aux états limites. Un état limite est un état dans lequel une structure cesse de remplir la fonction pour laquelle elle a été conçue.

On distingue:

Les Etats Limites de Service ou E.L.S	Les Etats Limites Ultimes ou E.L.U.
<p>Ce sont les conditions qu'il faut respecter pour que l'exploitation normale et la durabilité de la construction soient assurées. Les états limites de service présentent deux domaines:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Un domaine qui nécessite des calculs : par exemple, vérifier que des contraintes ou des déformations sont admissibles</li> <li>2. Un domaine qui ne nécessite aucun calcul : c'est l'ensemble des dispositions constructives qui doivent être assurées.</li> </ol>	<p>Ils font référence aux conditions de rupture. Il s'agit de s'assurer que le risque de ruine est très faible en prenant divers coefficients de sécurité (sur les matériaux) et de pondération (sur les charges). En effet les sources d'erreur sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les <u>matériaux</u> peuvent être moins résistants que prévu.</li> <li>- Les <u>charges appliquées</u> peuvent être plus sévères que prévu.</li> <li>- Les <u>méthodes de calcul et les hypothèses</u> peuvent ne pas correspondre exactement à la réalité.</li> </ul>

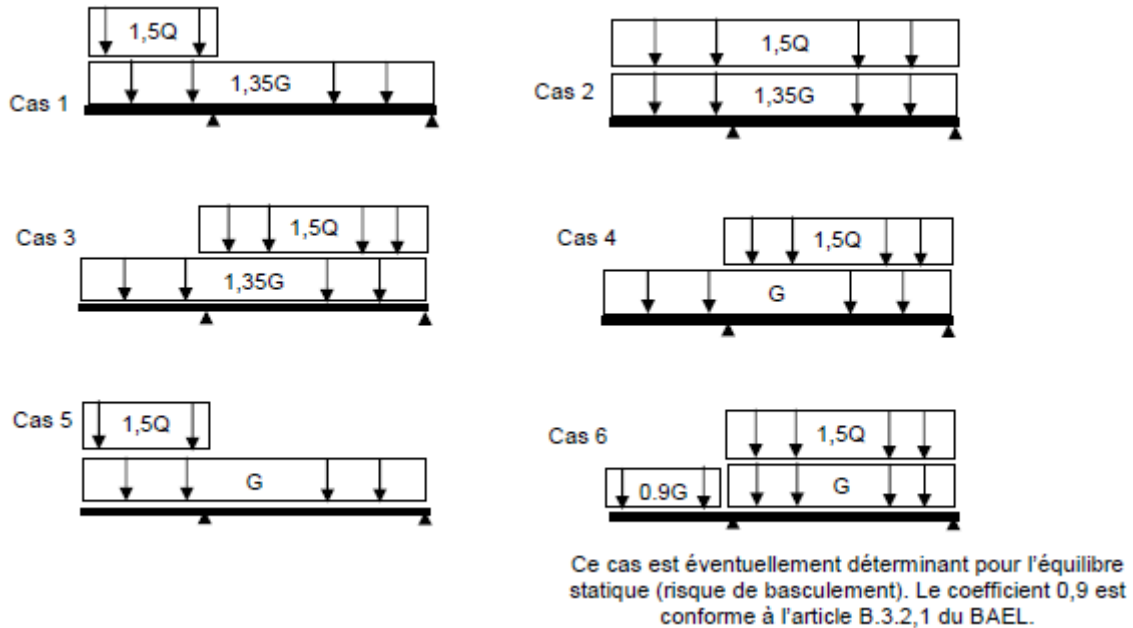
Une structure en béton doit respecter les contraintes liées à chaque état limites :

Les différents états limites en béton armé (selon BAEL)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'ensemble doit rester en équilibre lorsque des charges sont appliquées</li> <li>• Le béton et l'acier ne doivent pas se rompre</li> <li>• Les éléments ne doivent pas flamber</li> <li>• Limitation de l'ouverture de fissure</li> <li>• Limitation des flèches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ELU d'équilibre statique</li> <li>• ELU de résistance des matériaux</li> <li>• ELU de stabilité de forme</li> <li>• ELS de durabilité</li> <li>• ELS de conditions d'exploitation</li> </ul>

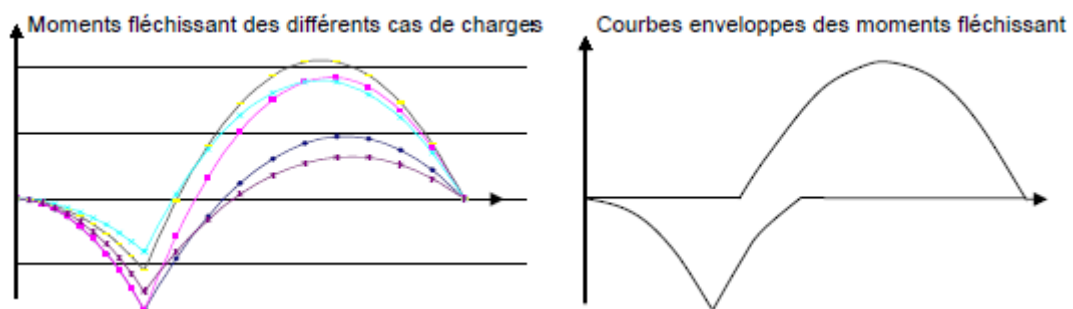


## 8. Courbes enveloppes

Selon que les différentes travées peuvent être chargées ou déchargées par la charge d'exploitation, différents cas de charges doivent être étudiés. Dans le cas d'une poutre sur deux appuis simples prolongée par un porte-à-faux on peut distinguer les 6 cas suivants :



Ce sont les cas de charges 3 et 4 qui sont éventuellement déterminant pour le moment en travée et les cas 1 et 2 pour le moment sur appui.



## 9. Mécanique des sols et fondations

### 9.1. Définition et rôle des fondations

On désigne par « fondations » les éléments qui jouent le rôle d'interface entre la structure porteuse de l'ouvrage et le sol.

Les fondations assurent donc l'équilibre de l'ouvrage et ne doivent donc jamais basculer, glisser, s'enfoncer ou se soulever.

### 9.2. Mécanique des sols

*Remarque : La mécanique des sols est un domaine très complexe dont nous limiterons l'étude à celle du poinçonnement des sols.*

On appelle contrainte de calcul  $q$ , la contrainte verticale maximum pouvant être mobilisée sous la fondation sans danger de tassement ni de rupture. La valeur de  $q$  dépend du sol sur lequel repose la fondation (voir tableaux ci-contre).

Elle peut être déterminée par essais de sols. On détermine alors  $q_u$  la contrainte maximum que le sol peut supporter. Pour des raisons de sécurité on retient pour

les calculs :  $q = \frac{q_u}{2}$

Nature du sol	$q$ (MPa)
Roches peu fissurées saines non désagrégées de stratification favorable	0,75 à 4,5
Terrain non cohérent à bonne compacité	0,35 à 0,75
Terrain non cohérent à moyenne compacité	0,20 à 0,40
Argile	0,03 à 0,30

Nature géologique du sol	$q$ (MPa)
Limon de plateaux	0,15 à 0,30
Terre à meulière	0,30 à 0,45
Marne verte, argile	0,07 à 0,45
Alluvions anciennes, sables et graviers	0,60 à 0,90
Sables de Beauchamp	0,75 à 1,50
Craie	0,90 à 1,00
Marne + caillasse	0,75 à 1,50
Calcaire grossier	1,80 à 4,50

### 9.3. Vérification des fondations superficielles

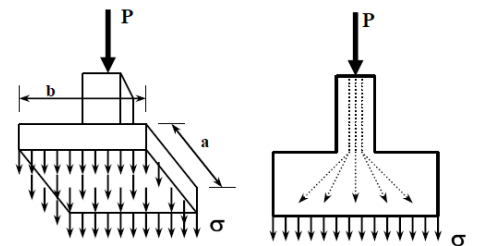
Le sol d'assise peut supporter une certaine pression qu'il ne faut pas dépasser. Les fondations permettent de répartir les charges sur le sol, de façon à ce que l'on ait toujours :

**Pression exercée par la fondation sur le sol < Pression que peut supporter le sol**

Exemple d'un poteau sur un élément de fondation :  
Isolons l'élément de fondation.

Faisons le bilan des actions mécaniques extérieures à ce système :

- $P$  est l'effort au pied du poteau obtenu par le calcul de descente de charges.
- $1,35 \times m \times g$  le poids de l'élément de fondation en lui-même, majoré du coefficient de sécurité pour les charges permanentes.
- $\sigma \times S$  : Force de réaction du sol (Avec  $S = a \times b$  : Surface d'appui sur le sol d'assise).



Notations :  $P + 1,35 \times m \cdot g = N_u$

L'effort apporté par l'ouvrage sur le sol.

L'application du PFS sur l'axe vertical conduit à :  $\sigma S = P + 1,35 m \cdot g = N_u$  D'où :  $\sigma = \frac{N_u}{S}$

Critère de résistance :  $\frac{N_u}{S} \leq q$  avec les unités usuelles :  $N_u$  en MN,  $S$  en  $m^2$  et  $q$  en MPa